

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-68976

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月10日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 2 F 1/37

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 F 1/37

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平8-228184

(22) 出願日 平成8年(1996) 8月29日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 遊部 雅生

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 横浜 至

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 横尾 篤

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

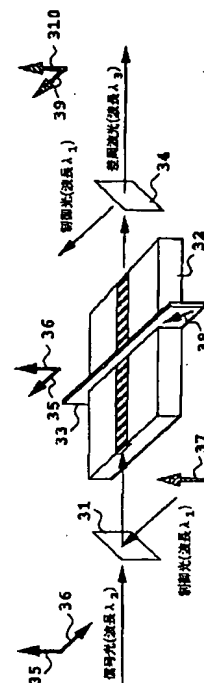
(74) 代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

(54) 【発明の名称】 光駆動型波長変換装置

(57) 【要約】

【課題】 信号光の偏光方向が変わっても差周波光への変換効率が変動しない、信号光偏波無依存の光駆動型波長変換装置を提供すること。

【解決手段】 2次の非線形光学効果を有する光学媒質からなる光導波路32と、信号光と制御光を合波して光導波路に入射する合波器31と、光導波路から出射する光を制御光、制御光と信号光の差周波光とに分離する分波器34とを備え、かつ光導波路の中央又はその近傍に、信号光の波長では1/2波長板に、制御光の波長では1波長板になる位相板33が配置される。制御光の波長は信号光に対して約半分の波長にし、位相板33はその複屈折の軸38が制御光の偏波方向に対してほぼ45度をなすようにする。光導波路の後半部分の長さをその光導波路の前半部分よりも長くしてもよい。光導波路はZ板LiNbO₃基板上にTi拡散により形成し、擬似位相整合条件を満たすように所定の周期で分極反転処理を施している。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 2次の非線形光学効果を有する光学媒質からなる光導波路と、

信号光と制御光を合波して前記光導波路に入射する手段と、

前記光導波路から出射する光を、前記制御光と、該制御光と前記信号光の差周波光とに分離する手段とを備えた光駆動型波長変換装置において、

前記光導波路の中央又はその近傍に、前記信号光の波長では1/2波長板に、前記制御光の波長では1波長板になる位相板が配置されたことを特徴とする光駆動型波長変換装置。

【請求項2】 前記制御光の波長は前記信号光の波長に対して約半分の波長であることを特徴とする請求項1に記載の光駆動型波長変換装置。

【請求項3】 前記位相板は該位相板の複屈折の軸が前記制御光の偏波方向に対してほぼ45度をなすように前記光導波路に挿入されていることを特徴とする請求項2に記載の光駆動型波長変換装置。

【請求項4】 前記位相板を境として前記光導波路の後半部分の長さを該光導波路の前半部分よりも長くしたことを特徴とする請求項3に記載の光駆動型波長変換装置。

$$P = \chi^{(1)} E + \chi^{(2)} E^2 + \chi^{(3)} E^3 + \dots \quad (1)$$

特に、上式(1)の第2項は、中心対称性のくずれた物質において強く現れる効果で、第2次高調波発生(second harmonic generation: SHG)、和周波発生(sum frequency generation: SFG)、差周波発生(difference frequency generation: DFG)などの効果を生じ、レーザの発生する波長を別の波長へと変換することができる。ここで本発明で利用する差周波発生について簡単に説明する。差周波発生とは角周波数 X_1 と角周波数 X_2 の光を入射して、角周波数 $X_3 (= X_1 - X_2)$ の差周波光に変換するものである。この変換効率を高めるためには、 $\beta_1 - \beta_2 - \beta_3 = 0$ (ここで、 β_1 、 β_2 は角周波数 X_1 および X_2 の光の非線形媒質中での伝搬定数、 β_3 は差周波光の非線形媒質中での伝搬定数)なる位相整合条件、または非線形媒質が周期 T の周期的分極構造を有する場合においては、 $\beta_1 - \beta_2 - \beta_3 - 2\pi m/T = 0$ (ここで m は奇整数)なる疑似位相整合条件を満たさなければならない。この差周波発生の効果を用いて、例えばC. Q. Xu et.al. "Wavelength conversions 1.5 μ m by difference frequency generation in periodically domain inverted LiNbO₃ channel waveguides" Appl. Phys. Lett. vol.63, (1993) pp.1170-1172の論文に示されるように、光通信で用いられている1.5 μ m帯内での波長変換を行うことができる。

【0004】以下、従来技術によるこの種の装置の動作原理を簡単に説明する。この種の非線形光学装置は、図1に示したように、情報を持った信号光の波長を制御光

【請求項5】 前記光導波路はLiNbO₃基板上にTi拡散により導波路が形成され、疑似位相整合条件を満たすように所定の周期で分極反転処理が施されていることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の光駆動型波長変換装置。

【請求項6】 前記信号光および前記制御光は光パルスであり、前記光駆動型波長変換装置が高速光駆動光スイッチとして用いられることを特徴とする請求項1に記載の光駆動型波長変換装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長多重や時間多重を利用した光通信システムにおいて用いられる光駆動型波長変換装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】非線形光学効果とは、物質中の電極分極 P が下記の(1)式のように光の電界 E に比例する項以外に E^2 、 E^3 の高次項をもつために起こる効果である。なお、 $\chi^{(1)}$ は1次の非線形感受率、 $\chi^{(2)}$ は2次の非線形感受率、 $\chi^{(3)}$ は3次の非線形感受率である。

【0003】

【数1】

によって別の波長へと変換するものである。図中に示したように、信号光と制御光を合波する合波器11、2次の非線形光学効果を有して前述の位相整合条件または疑似位相整合条件を満たす非線形導波路12、および差周波光と制御光を分波する分波器13によって、この種の装置の主要部分は構成される。比較的小さな光強度を持つ信号光と比較的大きな光強度を持つ制御光とを合波器11で合波し、非線形導波路12に入射することにより、この導波路12中で信号光は別の波長を持つ差周波光へと変換され、制御光とともに導波路12から出射される。導波路12から出射された差周波光と制御光は分波器13により分離される。例えば、制御光の波長を0.77 μ mとした場合、波長1.55 μ mの信号光を波長1.53 μ mの差周波光へと変換することができる。

【0005】このような装置における従来技術においては以下に述べるように、非線形導波路での位相整合条件を満たすために、位相整合法の種類によって制御光、信号光、差周波光の偏光方向が一定の条件を満たす必要がある。

【0006】近年盛んに研究されている周期的分極構造を利用した疑似位相整合を用いる場合には図1に示したように、信号光の偏波方向14と制御光の偏波方向15は同じである必要があり、発生する差周波光は信号光と同じ偏波方向16となる。

【0007】タイプIと呼ばれる非線形媒質の複屈折を

利用した位相整合を用いる場合は、信号光と制御光の偏波方向は直交している必要があり、発生する差周波光は信号光と同じ偏光方向となる。

【0008】タイプIIと呼ばれる非線形媒質の複屈折を利用した位相整合を用いる場合は、信号光と制御光の偏波方向は直交または同じのいずれかである必要があり、発生する差周波光は信号光と直交した偏光方向となる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】以上に説明してきたように、上述の従来技術では、信号光と制御光の偏光方向に対して著しい依存性がある。光通信システムへの適用を考えた場合、制御光の発生装置は波長変換装置の近くに設置できると考えられるので、偏光方向を一定にすることは比較的容易に実現可能と考えられる。しかしながら、光通信システムに用いられている単一モードファイバ中の偏光方向は絶えず変動しており、長距離のファイバを伝搬してきた信号光を従来の技術による装置に入射して波長変換を行うと、信号光の偏光方向の揺らぎによって、差周波光への変換効率が変動してしまい、実用的でないといった解決すべき点があった。

【0010】本発明の目的は、上記のような従来技術の課題を解決し、信号光の偏光方向が変わっても差周波光への変換効率が変動しない、信号光偏波無依存の光駆動型波長変換装置を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】そこで、本発明では、信号光偏波無依存の光駆動型波長変換装置を提供するため、光導波路の中央またはその近傍に、信号光の波長に対しては $1/2$ 波長分の位相差を生じ、かつ制御光の波長に対しては1波長分の位相差を生じる位相板を配置させることで、信号光の偏光方向が変わっても差周波光への変換効率が変動しないようにした。

【0012】具体的には、請求項1の本発明は、2次の非線形光学効果を有する光学媒質からなる光導波路と、信号光と制御光を合波して上記光導波路に入射する手段と、上記光導波路から出射する光を、上記制御光と、その制御光と上記信号光の差周波光とに分離する手段とを備えた光駆動型波長変換装置において、上記光導波路の中央又はその近傍に、上記信号光の波長では $1/2$ 波長板に、上記制御光の波長では1波長板になる位相板が配置されるようにした。

【0013】さらに、請求項2の本発明では、上記制御光の波長は上記信号光の波長に対して約半分の波長にした。

【0014】請求項3の本発明では、上記位相板はその位相板の複屈折の軸が上記制御光の偏波方向に対してほぼ45度をなすようにした。

【0015】請求項4の本発明では、上記位相板を境として上記光導波路の後半部分の長さをその光導波路の前半部分よりも長くした。

【0016】請求項5の本発明では、上記光導波路は LiNbO_3 基板上にTi拡散により導波路だ形成され、擬似位相整合条件を満たすように所定の周期で分極反転処理が施されているようにした。

【0017】請求項6の本発明では、上記信号光および制御光は光パルスにして、高速光駆動光スイッチとして用いられるようにした。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0019】本発明の実施形態では、信号光と制御光を非線形光学媒質からなる光導波路に入射して、差周波発生効果を用いて信号光の波長を別の波長に変換する光駆動型波長変換装置において、従来と異なり、その光導波路の中央またはその近傍（ほぼ中間部分）に位相板を挿入させ、この位相板として信号光の波長に対してほぼ $1/2$ 波長分の位相差を生じ、制御光の波長に対してはほぼ1波長分の位相差を生じる位相板を用いる。これにより、信号光の偏光方向が変動しても差周波光への変換効率が変動しないという信号光偏波無依存の光駆動型波長変換装置を構成することができる。

【0020】図2を参照して、以下にその動作原理について説明する。図2中に示したように本発明による装置の主要部分は、信号光と制御光を合波する合波器21、2次の非線形光学効果を有して位相整合条件または疑似位相整合条件を満たす非線形導波路22、この導波路22のほぼ中間部分に挿入された位相板23、および差周波光と制御光を分波する分波器24によって構成される。

【0021】差周波発生効果を用いて波長変換を行う場合には、制御光の波長（ λ_1 ）は信号光の波長（ λ_2 ）に対して約半分の波長を用いるが、このような場合に、位相板23を信号光波長に対しては2つの直交する偏波成分間にはほぼ $1/2$ 波長分の位相差を生じ、制御光波長に対しては2つの直交する偏波成分間にはほぼ1波長分の位相差を生じるように設計することは比較的容易に可能である。

【0022】本発明においては、この位相板23の複屈折の軸28が制御光の偏波方向に対してほぼ45度の角度をなすように導波路22のほぼ中間部分に挿入される。ここで説明を簡単にするために、この非線形導波路22中では、信号光と制御光の両者の偏波が本図中の縦方向に向いている場合に、位相整合条件または疑似位相整合条件を満たすと仮定する。

【0023】このように設計された本装置の合波器21に図2中に示すように直交する2つの偏波成分25、26を含む信号光と、縦方向の偏波27を持つ制御光を入射すると、導波路22の前半部分においては、信号光の縦偏波成分25と制御光が位相整合条件または疑似位相整合条件を満たすので、信号光の縦偏波成分のみが差周

波発生効果により差周波光29へと変換される。

【0024】一方、信号光、制御光が導波路22のほぼ中間部分に備えられた位相板23を通過すると、信号光は偏波方向が90度だけ回転するが、制御光の偏波は変化しないために、導波路22の後半部分においては信号光の横偏波成分26と制御光が位相整合条件または疑似位相整合条件を満たし、信号光の横偏波成分のみが差周波発生効果により差周波光210へと変換される。なお、導波路22の前半部分で発生した差周波光29は信号光と波長が接近しているため、位相板23で偏波が90度回転して出射される。

【0025】本発明では導波路22の前半部分における差周波効果により制御光のパワーが若干変化することが考えられるが、通常制御光に比べて信号光のパワーは小さく、制御光の減少分は信号光パワーと同程度であるため、実際上の制御光パワーの変化はほぼ無視できる程度である。従って、導波路22の後半部分においても前半部分と同程度の変換効率が得られる。また、位相板23が制御光に対して完全に1波長分の位相差を生じるように設計できず、そのため導波路22の後半部分における制御光の縦方向の偏波成分が減少した場合でも、導波路22の後半部分の長さを前半部分よりも長くすることにより、前・後半部分での変換効率を同一にすることが可能である。

【0026】この結果、信号光の2つの直交する偏波成分に対して同一の波長変換効率が得られるので、信号光の偏光方向が変動しても変換効率が変動しない、信号光偏波無依存の光駆動型波長変換装置を構成することができる。この作用は本発明による装置構成をとることにより始めて実現可能になるものである。

【0027】

【実施例】以下、図面に基づいて本発明の実施例を具体的に説明する。

【0028】図3は本発明の実施例の構成を示す。ここで、31は信号光と制御光を合波する合波器である。32はZ板 LiNbO_3 基板にTi拡散により導波路を形成し、疑似位相整合条件を満たすように周期 $1.9\mu\text{m}$ で分極反転処理が施された非線形導波路である。33はこの導波路32の中間部分に挿入された位相板、34は差周波光と制御光を分波する分波器である。また、35、36は波長 $1.535\mu\text{m}$ の信号光の偏波方向、37は波長 $0.771\mu\text{m}$ の制御光の偏波方向、38は位相板33の複屈折の主軸方向、39、310は波長 $1.550\mu\text{m}$ の差周波光の偏波方向をそれぞれ表している。

【0029】本実施例で導波路32に用いた分極反転構造を持つ LiNbO_3 の有効2次非線形定数 d_{eff} は 25pm/V であり、 LiNbO_3 のTi拡散導波路はTEモード、TMモードの両偏波を伝搬させることができるため、本発明による装置構成に適している。本実施例ではコア幅 $5\mu\text{m}$ とし導波路長 20mm とした。

【0030】本実施例で用いた位相板33はポリイミドを延伸して作製されたものである。本実施例のように信号光と制御光波長の間の波長領域における複屈折の波長依存性の小さな材料を用いれば、信号光波長に対してほぼ $1/2$ 波長分の位相差を有するように位相板の厚みを調整することによって、信号光の約半分の波長をもつ制御光に対してはほぼ1波長分の位相差を有する位相板を容易に作製することができる。

【0031】図4に本実施例における制御光パワーに対する差周波光パワーの変化を示す。ここで、入射信号光のパワーは 1mW とした。この図4からわかるように信号光がTE、TMのどちらの電磁界モードの偏波であっても、制御光 200mW でほぼ100%の変換効率が得られ、信号光の偏波によらず一定の変換効率が得られることが確認された。また、図4から明らかなように、本実施例では信号光の偏波によらずに一定の変換効率が得られるため、信号光の偏波変動に対して安定な波長変換素子を実現することができた。

【0032】図5には本実施例の波長変換素子（光駆動型波長変換装置）に信号光として幅 10ps 、繰り返し 60GHz の光パルス列、制御光としてパルス幅 12ps 、繰り返し 100ps の光パルスを入射した場合の、制御光パルス（図5の（A））、入射信号パルス列（図5の（B））、および差周波光パルス波形（図5の（C））を示す。本発明による波長変換素子は、図5に示すように、極めて高速に波長変換を行うことが可能であるので、信号光偏光無依存の高速光駆動光スイッチとして用いることも可能である。通常、このような高速光駆動光スイッチは3次の非線形材料を用いて構成されるが、このような多くのスイッチは著しい偏光依存性があり、これに対し本発明によれば容易に偏光無依存の高速光駆動光スイッチを実現することができる利点がある。

【0033】本実施例では繰り返し 60GHz の高速信号パルス列から 10GHz の信号を抜き出して波長変換することができた。

【0034】本実施例では非線形光導波路として疑似位相整合型の LiNbO_3 導波路を用いたが、他の2次非線形材料あるいは疑似位相整合型以外の位相整合法を用いても同様の装置を構成することができる。例えば、タイプIの位相整合を満たす結晶として LiNbO_3 、 LiTaO_3 、 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ 、NPP（N-(4ニトロフェニル)-L-プロニノル）などを、例えばタイプIIの位相整合を満たす結晶として KTiOPO_4 、AANP（2アダマチルアミノ-5-ニトロピリジン）などを、疑似位相整合を満たす結晶としてKTP、 LiTaO_3 などを用いることができる。

【0035】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、信号光の偏波方向にかかわらず差周波光への一定の変換効率が得られるので、信号光の偏波変動に対して安定な

波長変換素子を実現することができる。そのため、本発明によれば、波長多重を利用した大容量の光通信を実現することが可能になる利点を生じる。

【0036】また、本発明による波長変換素子は10ps以下の極めて高速で動作するため、信号光偏光無依存の高速光駆動スイッチとして用いることも可能であり、時間多重を利用した大容量の光通信も可能になる利点を生じる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の差周波発生を用いた波長変換素子の原理を示す斜視図である。

【図2】本発明の波長変換素子の動作原理を示す斜視図である。

【図3】本発明の実施例の構成を示す斜視図である。

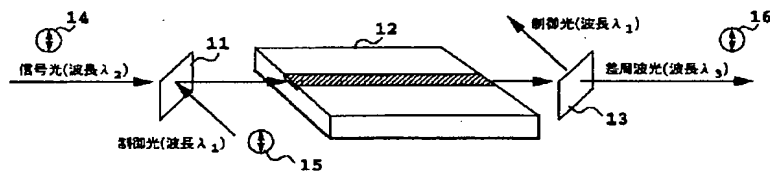
【図4】本発明の実施例の動作を示すグラフである。

【図5】本発明の実施例の他の動作を示す波形図である。

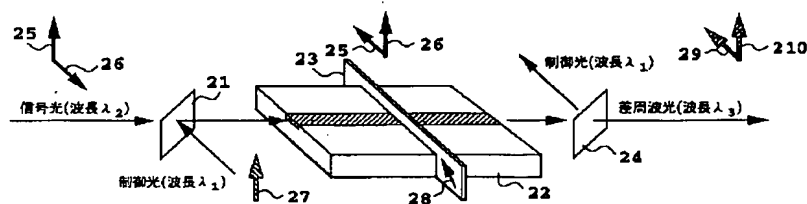
【符号の説明】

- 21、31 合波器
- 22、32 非線形導波路
- 23、33 位相板
- 24、34 分波器
- 25、35 信号光の偏波方向
- 26、36 信号光の偏波方向
- 27、37 制御光の偏波方向
- 28、38 位相板の複屈折の主軸方向
- 29、39 差周波光の偏波方向
- 210、310 差周波光の偏波方向

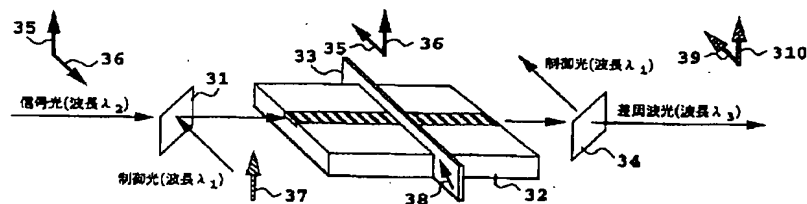
【図1】



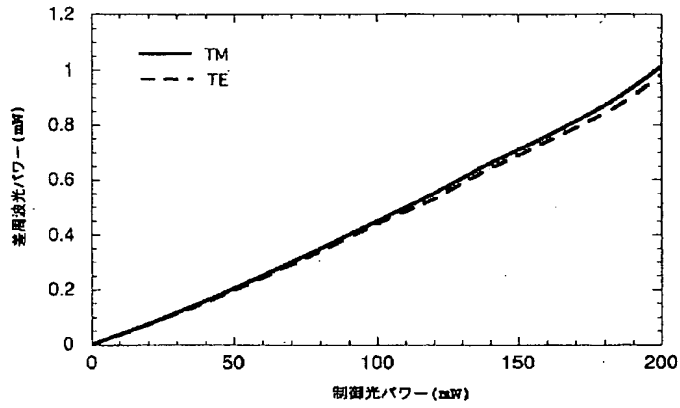
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

